2. CUANTIFICACION DE LAS ENERGIA , TRABAJO Y CALOR

ENERGIA TOTAL (E)

Un sistema termodinámico en un estado determinado, posee 3 tipos de energías acumuladas, que son : la energía cinética (K), la energía potencial (P) y la energía interna (U). La suma de estas 3 energías representa la energía total (E), que posee el sistema.

$$E = K + P + U$$

Cuando un sistema experimenta un proceso determinado, debido al intercambio de energía con el exterior, entonces debe producirse una **variación de su energía total**, por lo tanto:

$$E_2 - E_1 = \Delta E_{12} = (K_2 - K_1) + (P_2 - P_1) + (U_2 - U_1)$$

$\Delta E_{12} = \Delta K_{12} + \Delta P_{12} + \Delta U_{12}$ (J) o (kcal) **Variación energía total de toda la masa**

$\Delta e_{12} = \Delta k_{12} + \Delta pot._{12} + \Delta u_{12}$ (J / kg) o (kcal / kg) **Variación energía total de cada kg del sistema**

ENERGIAS DE TRANSFERENCIA

- **TRABAJO**
- **CALOR**

2.2. TRABAJO.(W)

Es la energía transferida, sin acompañamiento de masa, a través de los límites de un sistema, asociado al desplazamiento de la materia por efecto de una fuerza. Matemáticamente se expresa como:

$$W = \int F \cdot dx$$

donde F es la fuerza que actúa sobre la superficie del sistema y produce un desplazamiento dx en el mismo sentido.

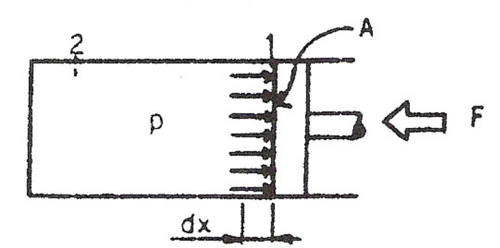
Existen varios tipos de trabajo (*), dependiendo de cómo se genere la fuerza. Por ejemplo: trabajo eléctrico, elástico de un resorte, de deformación de un sólido, de magnetización, etc. En este curso, sólo interesan aquellas formas que afecten las propiedades de estado termodinámicas de un sistema, específicamente el trabajo de compresión o expansión de un fluido y el trabajo de flujo.

2.2.1. Trabajo en Sistemas Cerrados.

Para calcularlo es conveniente referirse a un fluido compresible encerrado dentro de un cilindro con un pistón (Fig. 2.1). Este es un sistema cerrado el cual puede recibir trabajo si se empuja el pistón, de modo que aumente su presión y disminuya su volumen (compresión).

Figura 2.1.

Trabajo sobre un fluido encerrado en un cilindro.



Si p representa la presión que actúa sobre la cara del pistón y A su área, la fuerza que debe vencerse para comprimir el fluido es F = p A. El trabajo transferido al sistema al mover el pistón un desplazamiento dx es:

(*).- Cualquiera sea el tipo de trabajo, es común que en las Máquinas termodinámicas se manifieste como un movimiento o rotación de algún mecanismo recibiendo el nombre de Trabajo Mecánico o al Eje. Ejemplo: Eje de Turbinas, Compresores o Motor de Combustión interna.

$dW = F \cdot dx = p \cdot A \cdot dx$

Donde $\qquad Adx = d\ V$: variación infinitesimal del volumen.

$dW = p \cdot d\ V = m \cdot p \cdot d\ v$ [Joules].

La condición básica que permite plantear esta ecuación es la realización del proceso a través de una sucesión contínua e infinitesimal de estados de equilibrio que asegura, en cualquier punto del proceso, que la presión sea la misma en todo el sistema (aunque diferente en cada punto). Esto significa que la expresión desarrollada es válida rigurosamente para procesos reversibles o ideales.

Convenio de Signos:

Se observa que dV es negativo cuando se suministra Trabajo al sistema y positivo si el sistema realiza trabajo. Asumiendo que el trabajo que entra al sistema es positivo y el que sale es negativo, debe introducirse un signo negativo en la expresión anterior:

$dW = -pdV$

$W = -\int pdV$ [Joules] trabajo reversible

$w = -\int pdv$ [Joules/Kg.] trabajo reversible específico.

Ejemplo: Calcular el trabajo de compresión necesario para reducir el volumen del aire encerrado en el sistema de la Fig. 2.1 desde 0,02 m^3 a 0,005 m^3. Suponer $p = f(V) = \frac{84000}{V}$ [Pa]

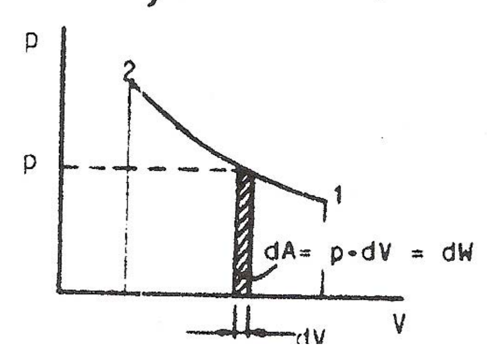
$$\text{Sol: } W = -\int_1^2 pdV = -\int_{0,02}^{0,005} \frac{84000}{V}\, dV = -84000 \ln V\Big]_{0,02}^{0,005} = 116,5 \text{ [KJ]}$$

Representación Gráfica.

Utilizando un diagrama p-V se puede representar el proceso indicado según la trayectoria 1-2 mostrada en la figura 2.2. En este gráfico dW queda representado por el área diferencial bajo la curva dA. Integrando en toda la trayectoria se tiene: $W = -\int pdV$ = Area bajo la curva.

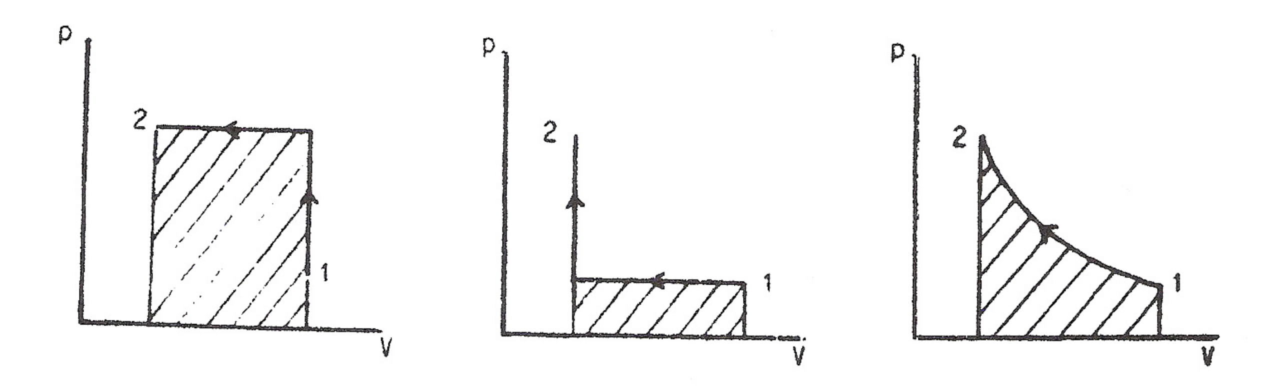
Figura 2.2.

Trabajo de Compresión en el Diagrama p-V



Es importante destacar que el trabajo depende de la variación de presión $p = f(V)$ durante el proceso, es decir, depende de la trayectoria. Esto implica que el cambio de estado de 1 a 2 se puede realizar mediante diferentes procesos, siendo distinto el trabajo para cada uno de ellos. (Ver Fig. 2.3.). Por estas razones <u>el Trabajo no es propiedad de estado</u> como lo son p, u etc. En general $dp = p_2 - p_1$; $du = u_2 - u_1$; pero $dW \neq W_2 - W_1$

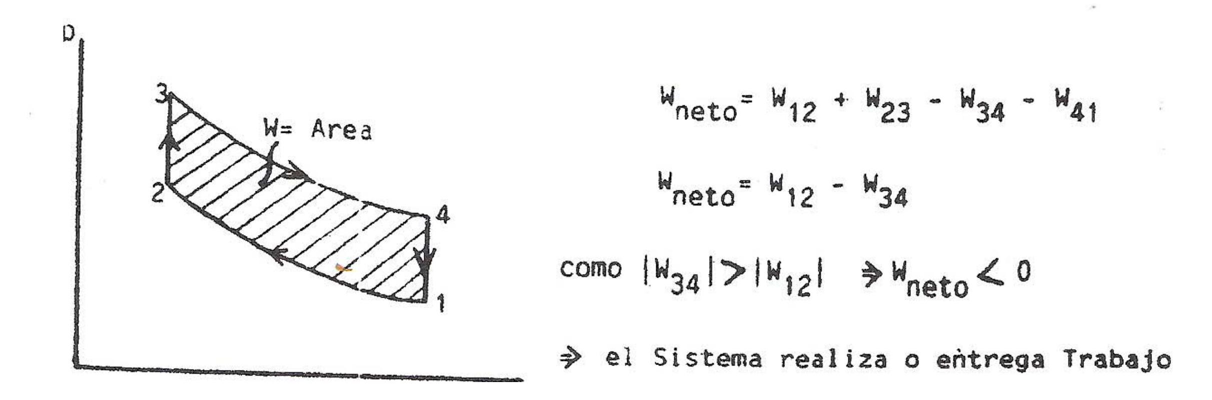
<u>Figura 2.3</u> Distintos trabajos para el mismo cambio de estado.



<u>Trabajo en un ciclo.</u>

El trabajo total o neto que se realiza en un ciclo, es la suma algebraica de los trabajos desarrollados en cada uno de los procesos y corresponde al área encerrada por la curva en un diagrama p-V. Ver ejemplo en la figura 2.4

<u>Figura 2.4</u> Trabajo en un ciclo.



<u>2. 3 CALOR (Q)</u>

Sabemos que el calor es aquella energía transferida entre 2 sistemas o cuerpos debido a una **<u>diferencia de temperatura</u>**. El calor, **<u>en forma espontánea</u>**, siempre se transfiere del cuerpo que tiene mayor temperatura hacia el que tiene menor temperatura.
Entre mayor sea la diferencia de temperatura, mayor será el calor transferido.

Los procesos que se realizan sin transferencia de calor se denominan adiabáticos.

El calor no es propiedad de estado.

Calor Específico.

Es un concepto que permite calcular el calor que absorbe o rechaza un sistema. Se le define como la cantidad de Calor dQ que debe recibir un sistema de masa **m kg** para producir un cambio dt en su temperatura. Matemáticamente:

$$C = \frac{dQ}{m \cdot dt} \quad \left[\frac{Joules}{Kg\ K} \right]$$

El calor específico es una cantidad que depende de la sustancia considerada, del tipo de proceso mediante el cual se transfirió el calor y rigurosamente, depende también de la temperatura de la sustancia. Existen tablas de propiedades de las sustancias que entregan valores de c para diferentes sustancias y procesos, estableciendo la temperatura para el cual fué calculado. Normalmente, el efecto de la temperatura debe considerarse sólo en procesos donde su variación sea muy grande, por ejemplo, Δt superior a 300° C.

Debido a la gran variedad de procesos que es posible realizar, se puede establecer muchos valores de calores específicos. Sin embargo, existen dos procesos cuyos calores específicos son especialmente importantes y útiles: isobárico e isométrico.

Algunos Valores:

Aire, proceso a presión constante,	t = 38°C	C_p aire = 1004 J/Kg K
Aire, proceso a volumen constante,	t = 38°C	C_v aire = 717 J/Kg K
Agua líquida, presión constante,	t = 0°C	C_p agua = 4184 J/Kg K
Agua sólida, presión constante,	t = 0°C	C_p hielo = 2040 J/Kg K

En general, en gases $C_p > C_v$ y en líquidos y sólidos $C_p \approx C_v$.

Se establecerá posteriormente que estos calores específicos constituyen propiedades puntuales de los sistemas y pueden ser expresados y redefinidos en función de propiedades termodinámicas.

Cálculo del Calor. **(Sensible). Calor que hace variar la temperatura de un cuerpo.**

A partir de la definición de Calor específico:

$$dQ = m \cdot C \cdot dt$$

$$Q = \int m \cdot C \cdot dt \quad [Joules]$$

Se acepta que el Calor es positivo si entra al sistema y negativo si sale (rechazo) del sistema.

Si m = cte , entonces $Q = m \int c \cdot dt$

Si m = cte y c = cte , entonces $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ (J) o (kcal)